

Propuesta para la interconexión WLAN multicelda basada en el estándar IEEE 802.11e y DiffServ*

Carlos A. Viteri M.
cviteri@unicauca.edu.co

Javier A. Gómez O.
jgomez@unicauca.edu.co

IEEE Student Members
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Universidad del Cauca

Fecha de recepción: 19-10-2007

Fecha de selección: 18-04-2008

Fecha de aceptación: 15-01-2008

ABSTRACT

Nowadays, the convergence of services as video, voice and data over a common infrastructure has become an important issue that requires special treatment in order to achieve an optimum Quality of Service (QoS) level. This is the case of the IEEE standard 802.11e which enhances the original IEEE 802.11 MAC layer providing a fair medium access treatment according to the application needs. In addition, the deployment of WLANs in public places (hotspots) has been made in a one-cell oriented way and the network design over an outdoor environment involving more than one cell has not been considered. This fact

leads to our proposal of an "Outdoor Multicell WLAN supporting 802.11e" design based on the solutions provided by special techniques commonly used by cellular telephony in order to solve problems related to outdoor scenarios. Our design is complemented by an integrated wired/wireless network architecture in order to achieve end to end QoS. This integration uses the Differentiated Services (DiffServ) QoS architecture which maps its traffic classification into the 802.11e and 802.1D link layer technologies.

KEY WORDS

802.11e, 802.1d, DiffServ, end to end QoS, multiple cells, Outdoor.

* Artículo enviado para revisión el 19 de octubre de 2007- I2COMM 2008.

RESUMEN

Actualmente, la convergencia de servicios tales como video, voz y datos sobre una infraestructura común se ha convertido en un aspecto importante que requiere especial atención con el fin de alcanzar niveles de QoS óptimos. Tal es el caso del estándar 802.11e, que mejora el nivel MAC del estándar original, suministrando un acceso al medio acorde a los requerimientos del servicio.

Adicionalmente, el despliegue de WLAN's en sitios públicos (hotspots) se ha hecho en un esquema de una celda y el diseño de estas redes en un ambiente de exteriores involucrando más de una celda no ha sido

considerado. este hecho nos lleva a proponer este trabajo "WLAN's multicelda Outdoor con soporte 802.11e" utilizando técnicas de uso común en las redes celulares. Nuestro diseño se complementa por una arquitectura de red Fija/Móvil que permita manejar QoS de extremo a extremo. Esta integración utiliza el enfoque de Servicios Diferenciados (DiffServ), el cual mapea su clasificación de tráfico en el esquema de 802.11e y en 802.1D.

PALABRAS CLAVE

802.11e, 802.1d, DiffServ, QoS, calidad de servicio, multiples celdas, planificación.

Clasificación Colciencias: Tipo 1

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la integración de servicios de voz, vídeo y datos sobre una misma infraestructura se ha convertido en una tendencia tecnológica que presenta el desafío de brindar calidad de servicio (QoS, *Quality of Service*) acorde con los requerimientos de cada aplicación. En particular, la gran acogida de las Redes de Área Local Inalámbricas (WLAN, *Wireless Local Area Network*) ha generado la necesidad de proporcionar un tratamiento diferente a los tráficos de voz y video. Por tal razón se creó el estándar IEEE 802.11e el cual se basa en un conjunto de modificaciones de Control de Acceso al Medio (MAC, *Medium Access Control*) del antiguo estándar IEEE 802.11.

Sin embargo, el soporte para QoS propuesto por el estándar 802.11e se ve limitado cuando se consideran redes en entornos outdoor¹ con múltiples celdas puesto que se debe considerar un correcto mapeo de prioridades a medida que la información atraviesa diferentes dispositivos (switches y enrutadores) con el fin de garantizar una QoS extremo a extremo. Considerando lo anterior, este artículo presenta un diseño basado en [1] que adapta esquemas de sectorización utilizados por la telefonía celular basado en un conjunto de criterios agrupados en capacidad, cobertura y calidad. Como complemento se analiza la posibilidad de utilizar una red IP DiffServ para interconectar varios grupos de celdas, con el fin de incrementar la cobertura de la red inalámbrica.

2. VISIÓN GENERAL DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11E

Teniendo en cuenta las limitaciones de soporte para QoS del estándar 802.11, el Grupo de Trabajo E (TGe, *Task Group E*) se encargó de realizar mejoras a nivel MAC. Como resultado, se aprobó en julio de 2005 el estándar 802.11e cuya operación a nivel MAC consiste básicamente en una clasificación de la información (voz, video y datos) de acuerdo con dos mecanismos: el de Acceso al Canal Distribuido Mejorado (EDCA, *Enhanced Distributed Channel Access*) y mediante Acceso al Canal Controlado HCF (HCCA, *HCF Hybrid Controlled Channel Access*).

El primero se basa en la asignación de prioridades que considera el mecanismo de mapeo propuesto por 802.1D.² Para este caso las tramas con paquetes de voz tienen un tiempo de espera de acceso al medio más corto, razón por la cual se les asigna una prioridad más alta que al resto de las tramas. En cuanto a HCCA, este mecanismo opera con un esquema de asignación de Oportunidades de Transmisión (TXOP, *Transmission Opportunity*) según los requerimientos de cada estación del Conjunto de Servicio Básico (BSS, *Basic Service Set*) [1].

Cabe anotar que al ser aprobado el estándar 802.11e a mediados del año 2005 la Alianza Wi-Fi generó una especificación interna llamada Wi-Fi Multimedia (WMM, *Wi-Fi Multimedia*) adoptando únicamente el mecanismo EDCA con el propósito de facilitar la interoperabilidad y garantizar

1. Este término hace referencia a entornos extensos con distancias superiores a los 200m.
2. Este mecanismo será explicado con mayor detalle en la sección *Interconexión de grupos de celdas por medio de una red IP DiffServ*.

la QoS entre diferentes proveedores de equipos según el tipo de tráfico que exista en la red. De igual manera, el grupo de estudio E tomó en consideración a HCCA como mecanismo de acceso generando un nuevo grupo conocido como Acceso Programado Wi-Fi Multimedia (WMM-SA, *Wi-Fi Multimedia Scheduling Access*). Sin embargo, en mayo de 2006, la junta directiva de la Alianza Wi-Fi decidió dar por terminado el grupo WMM-SA dejando así a WMM (EDCA) como único esquema de QoS que puede ser certificado en equipos de la Alianza Wi-Fi [2].

3. PROBLEMAS TÍPICOS EN EL DESPLIEGUE DE REDES WLAN EN ENTORNOS OUTDOOR

Entre los problemas de mayor consideración en entornos de grandes extensiones ó outdoor se encuentran:

Problema del nodo oculto: se presenta cuando dos o más estaciones no pueden escucharse entre sí transmitiendo información de manera simultánea (Figura 1).

Problema del nodo expuesto: este caso se da cuando se hace uso de la misma frecuencia (canal) en dos BSS adyacentes. En la Figura 2 las estaciones cliente 1 y 2 se encuentran conectadas a puntos de acceso diferentes, ambas en el mismo canal. Sin embargo, la estación 1 se inhibe de transmitir ya que asume que el canal se encuentra siempre ocupado por la transmisión de la segunda estación, a pesar de que esta última está asociada al AP 2.

Distancia del trayecto de propagación: En despliegues outdoor la calidad de la señal se ve afectada debido a la separación física entre transmisores y receptores ya que ésta disminuye

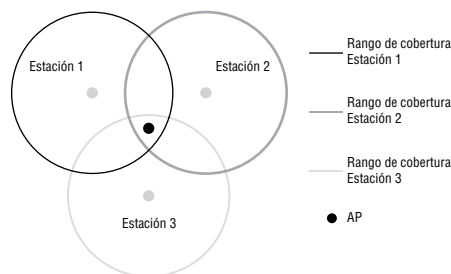


Figura 1. El punto de acceso se encuentra dentro del rango de cobertura de las tres estaciones clientes, sin embargo, éstas no se escuchan entre sí.

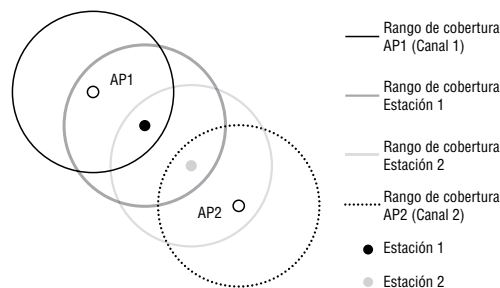


Figura 2. Problema del nodo expuesto.

a medida que la distancia de separación aumenta.

En particular, en el caso de la tecnología 802.11e, la distancia juega un papel importante en el desempeño de los niveles PHY y MAC, puesto que el estándar fue diseñado para operar correctamente en rangos no mayores a 200m [3] pero para distancias más largas entra en consideración el tiempo de propagación de la señal, el cual aumenta a medida que se incrementa la distancia de separación, siendo de gran importancia para aplicaciones que requieren bajos retardos.

Este tema será tratado más adelante, en la sección relacionada con el cálculo del radio de una celda.

Desvanecimiento por multi-trayecto:

En enlaces radio, usualmente la señal en el receptor es el resultado de múltiples señales que se han reflejado y refractado a lo largo del trayecto de propagación y la presencia de cambios en la amplitud, fase y polarización generan una distorsión de la señal original.

Línea de vista (LOS): Este término hace referencia a un camino limpio, sin obstrucciones, entre las antenas transmisoras y receptoras, que permita la mejor propagación de señales RF de alta frecuencia y debe ser considerado cuando se diseña un enlace inalámbrico.

4. DISEÑO DE UNA RED WLAN MULTICELDA EN ENTORNOS OUTDOOR

Una vez comprendidos los problemas existentes en los entornos outdoor se propone a continuación el diseño de una Red WLAN Multicelda Outdoor que soporta 802.11e basado en un

conjunto de criterios explicados en [1]. Estos se pueden resumir de la siguiente manera:

Criterios de capacidad: con el fin de soportar el tráfico generado por el usuario con las mejores características de desempeño (*throughput*, *delay*, pérdida de paquetes). Entre los aspectos a considerar se encuentran el número de canales disponibles, distancia de re-uso de frecuencia, radio de cobertura de la celda y sectorización.

Criterios de cobertura: para asegurar la disponibilidad del servicio sobre toda el área haciendo énfasis sobre modelos bidimensionales como el de Okumura-Hata y Walfish-Bertoni, COST231-Walfish-Ikegami.

Criterios de calidad: muy relacionado con los objetivos de capacidad y de cobertura para que en conjunto se logre proporcionar una buena QoS. Es de especial importancia la elección del códec y la activación de las funcionalidades de Solicitud de Envío (RTS, *Request to Send*) y Preparado para Enviar (CTS, *Clear to Send*).

El diseño propuesto se basa en un entorno que presenta condiciones ideales pero que consta de múltiples celdas sobre las que se analizan adicionalmente parámetros como la distancia entre puntos de acceso (radio de celda) y la sectorización aplicada a cada celda. Todo esto con el fin de intentar garantizar una QoS en la transmisión de voz y datos enmarcada en la recomendación ITU-T G.1010 [4]. Sin embargo, es preciso satisfacer las siguientes premisas:

1. Es necesario que el backbone del Proveedor de Servicios de Red (NSP, *Network Service Provider*)

esté en capacidad de soportar un gran número de usuarios ya que la cantidad de estaciones que se conectan a cada AP del *hotspot* durante un determinado lapso es variable e impredecible.

2. El NSP deber estar en capacidad de garantizar calidad de servicio extremo a extremo. Para el caso de la interconexión de varios AP que soportan 802.11e y que se encuentran en un sector o celda diferente se hace necesario que los dispositivos intermedios, tales como switches o enrutadores tengan capacidad para soportar mecanismos de QoS de tal manera que se realice un tratamiento especial de la trama según el tipo de datos que se esté transmitiendo a través de la red. Esta premisa se analiza en la siguiente sección.
3. En escenarios reales es de vital importancia realizar un adecuado diseño a nivel radio para lo cual deben estudiarse detalladamente las posibles fuentes de interferencia, identificar la presencia de obstáculos, utilizar mecanismos que permitan la comprobación de línea de vista, realizar una estimación del radio de cobertura, y determinar tanto la potencia como el factor de ruido. Sin embargo, en el diseño propuesto sólo se consideran los efectos del radio de cobertura y de la sectorización en el desempeño del nivel MAC 802.11e.

4. Los clientes son estacionarios, es decir, no se analizará el efecto de movilidad sobre la transmisión de voz y datos.

Teniendo en cuenta las anteriores premisas, a continuación se presentan las características más relevantes del diseño propuesto.

Radio de cobertura por celda: según estudios realizados en [5] a nivel radio la elección de una distancia inferior a 3 km no tiene consecuencias considerables sobre el nivel MAC por lo que para facilidad de cálculos el radio de cada celda es de 1 km.

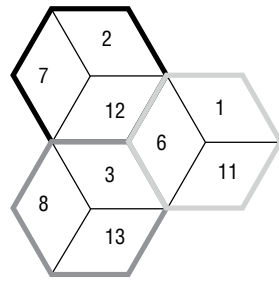
Planeación de frecuencias y tamaño del cluster: la banda escogida es la de 2.4GHz con lo que se tiene un número máximo de 13 canales disponibles. Se debe evitar la interferencia de canal adyacente asegurando un mínimo de 5 canales ($n=5$) como espaciamiento entre los canales elegidos. De lo anterior se deduce que si se desea repartir equitativamente el número de canales por celda se pueden utilizar como máximo 9 canales por *cluster*³ repartidos en 3 grupos con 3 canales cada uno. Es decir, el tamaño del clúster (K) es 3 y cada celda está dividida en 3 sectores.

Por lo tanto cada cluster constará de un set o conjunto de frecuencias dado por:

$(Ch_i, Ch_{i+n}, Ch_{i+2n})$ para $1 \leq i \leq 3$,
donde Ch_i es el canal de cada sector.

Con lo que la asignación de canales por cluster será tal como se observa en la Figura 3.

3. Área conformada por un número determinado de celdas adyacentes que utilizan canales diferentes. Se acostumbra dejar en inglés.



K = 3

Figura 3. Asignación de canales en un (1) cluster

Cálculo de la distancia de re-uso y localización espacial de las celdas co-canal

Según la expresión $D = \sqrt{3K} \times R$ en la cual $K = 3$ y $R = 1$ km se obtiene que la distancia de re-uso (D) debe ser al menos 3 km. En la Figura 5 la celda A cumple con este requisito y el centro de la celda (mástil de las antenas) se encuentra a una distancia de D+R es decir 8 km.

La localización de una celda de referencia A (color azul) se muestra en la Figura 4 [1].

Potencias de transmisión

Considerando los rangos típicos de transmisión de los AP y la situación legal en cuanto a la emisión de energía electromagnética en entornos urbanos mediante tecnologías Wi-Fi en territorio colombiano [6] se trabajará con 1 W como máxima potencia de transmisión.

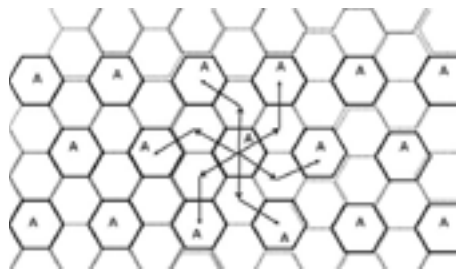


Figura 4. Ubicación de una celda co-canal de referencia A

Elección del códec

Se empleará el efecto del códec G.711 multicelda.

5. IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS

Con el propósito de profundizar la manera en que se realiza la interconexión entre celdas es necesario identificar los dispositivos de sector, celda y multicelda.

Análisis de sector: como primera instancia es necesario considerar que en la actualidad los puntos de acceso trabajan con una sola frecuencia, es decir, no es posible transmitir múltiples frecuencias simultáneamente. En el caso de la sectorización es indispensable que se trabaje con frecuencias distintas, con el fin de evitar la interferencia por canal adyacente, por lo que se deduce que cada sector consta de un punto de acceso propio.

Cada AP puede ser configurado en modo cliente, por lo que se trabajará con una topología punto a multipunto entre el AP y los clientes. Además, debe estar configurado en un canal predeterminado y contar con su propia antena sectorial.

Análisis de celda: en este caso, cada celda estará conformada por tres sectores, es decir 3 AP. Sin embargo, es necesario interconectar tales puntos de acceso para así poder establecer una comunicación intra-celda, inter-celda e inter-cluster. Debido a que los clientes de cada AP conforman un segmento de red y un punto de acceso es un elemento de nivel 2 del modelo de referencia OSI (no tiene dirección IP) se necesita un dispositivo que esté en la capacidad de interconectar tales segmentos de red, es decir, este debe

contar con la suficiente inteligencia que le permita entregar los paquetes de datos al destinatario correcto. Considerando lo anterior se descarta la posibilidad de utilizar un hub dado que este opera a nivel físico y no cuenta con capacidad para realizar un direccionamiento en los niveles superiores.

Entre las opciones restantes se encuentran los switches y enrutadores siendo estos últimos los que presentan un mayor número de funcionalidades pero cuya capacidad se ve desperdiciada debido a la simple y única necesidad de brindar una interconexión MAC por lo que se deduce que el elemento más indicado es un *switch* al cual se debe conectar cada AP en un puerto diferente. Como se mencionó anteriormente, este elemento de red debe contar con un mecanismo que proporcione un tratamiento especial de encolamiento de la información, ya sea que se trate de voz, video o simplemente datos, con el fin de mantener una QoS extremo a extremo.

Por lo tanto, es necesario un (1) *switch* que interconecte los tres AP que conforman una celda permitiendo así la comunicación entre clientes de estos AP.

Es importante tener en cuenta que tanto los AP como el switch se encuentran en el centro de la celda por lo que comparten la misma instalación física la cual debe contar con un suministro de potencia eléctrica permanente. Un ejemplo de un lugar de instalación puede ser la terraza de un edificio, con lo que se hace necesario estimar

posibles costos de arrendamiento del lugar. Otro caso puede ser el uso de torres ya existentes, y como última instancia se debe recurrir a la construcción de torres de transmisión exclusivas para la prestación de servicios mediante WLAN. Sin embargo, esta última elección está sujeta a un estudio de Retorno de Inversión (*Return of Investment*, ROI) con el fin de evitar despliegues sobredimensionados que afecten el presupuesto del proveedor de servicios y de red.

Análisis multicelda: para el caso en el que sea necesario comunicar dos clientes que pertenecen a celdas diferentes se requiere de un enlace que permita el transporte de la información recibida por cada switch. Se podría pensar en la implementación de una topología en malla entre las celdas, la cual consiste en enlaces inalámbricos punto a punto entre una celda en particular y las demás. Sin embargo, esta no es la mejor opción debido principalmente a tres factores: el primero se relaciona con el elevado número de enlaces para interconectar n celdas,⁴ el segundo tiene que ver con el incremento en el grado de dificultad al momento de realizar los cálculos de LOS entre celdas, debido a que se deben realizar el mismo número de cálculos como de enlaces a montar y, finalmente, al hacer uso de esta topología se está pensando en la interconexión entre las celdas, mas no se ha pensado en la posibilidad de brindar acceso a internet a los clientes ya que la aplicación de esta topología a la comunicación inter-celda se asemeja a una intranet aislada y en el caso de los hotspots es

4. El número de enlaces requeridos para interconectar n nodos está dado por: $\frac{n(n-1)}{2}$, en el caso de un cluster con 9 celdas se tendrían 36 enlaces.

necesario que un cliente pase por las etapas de autenticación y asociación antes de hacer uso de los servicios de un proveedor en particular.

Dado que usualmente las instalaciones en donde se pueden encontrar elementos como: Servicio de Usuario de Mercado con Autenticación Remota (*Remote Authentication Dial In User Service* RADIUS), servidores web, servidores de VoIP, enrutadores de frontera, etc., se ubican en edificaciones (oficina principal del proveedor de servicios o red) localizadas a cierta distancia del cluster o clusters a los que se desea brindar el servicio, no es viable establecer una conexión cableada debido a la separación espacial entre los extremos a interconectar. En particular, los extremos a interconectar son el edificio de la oficina principal (LAN) y el segundo extremo lo constituye cada celda o, específicamente, el switch de cada una de estas por lo que, descartando la topología en malla, se puede hacer uso de enlaces punto a punto entre tales extremos.

La función del *switch* puede ser vista como un elemento que tiene en cada uno de sus puertos un segmento de red en particular, pero que en conjunto forman una LAN por lo que la interconexión entre los dos extremos se reduce a la interconexión de dos LAN. Según esto, el candidato que más satisface los requerimientos es un Puente Inalámbrico (*Wireless Bridge*) cuya función básica es interconectar dos redes de manera inalámbrica. Por lo tanto se tiene que se necesitan 2 puentes inalámbricos por

enlace,⁵ uno de los cuales se encuentra conectado a un puerto del switch de cada celda, mientras que el otro se halla en el *switch* o enrutador de la sede principal. De esta manera a nivel de cluster con $K=3$ se necesitan 6 puentes inalámbricos, uno en cada celda y tres en el otro extremo. La antena de cada puente se ubica en el mástil que contiene las antenas de los puntos de acceso de cada sector.

Una posible ubicación de las antenas, así como el diagrama de red de una WLAN multicelda se muestran en la Figura 5 y en la Figura 6, respectivamente.

En la Tabla 1 se encuentran consignados los elementos necesarios por cluster.

Tabla 1. Elementos de red por cluster ($k=3$)

Dispositivo	Cantidad
Switch	1
Puntos de Acceso	3
Wireless Bridge	1
Antenas	4
Total de elementos	9

6. INTERCONEXIÓN DE GRUPOS DE CELDAS POR MEDIO DE UNA RED IP DIFFSERV

En las secciones anteriores se describió una propuesta de diseño para una red que soporta comunicaciones de voz y datos basada en la tecnología Wi-Fi dando como resultado un cluster de 3 celdas con cobertura

5. Esto basado en casos de estudio de Cisco.

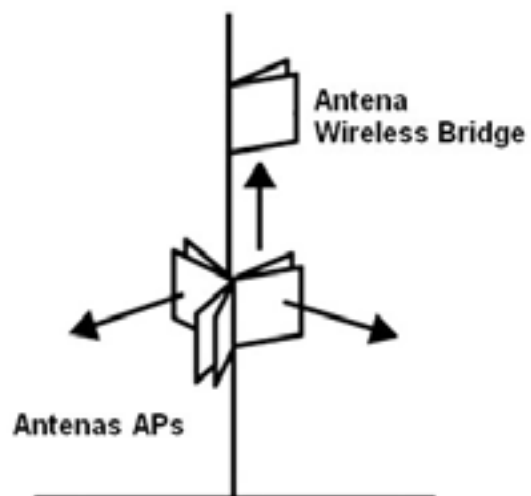


Figura 5. Posible ubicación de las antenas de los puntos de acceso y Wireless Bridge.

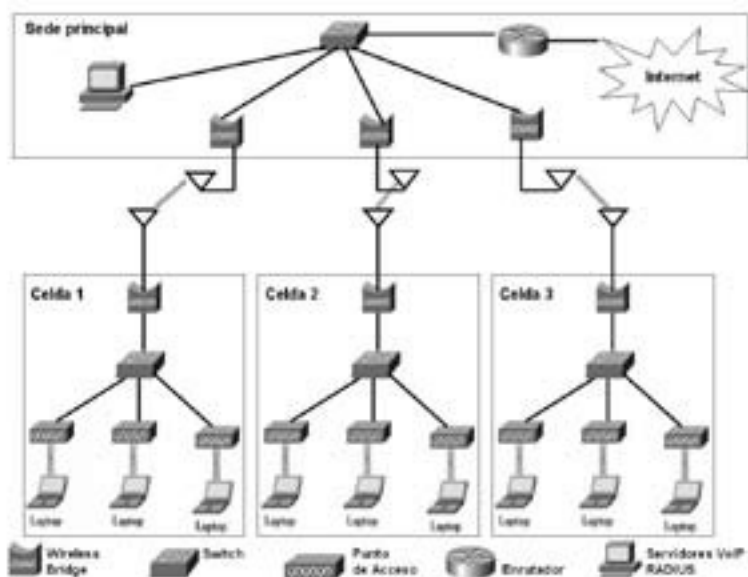


Figura 6. Diagrama de una red WLAN multicelda outdoor con un cluster de 3 celdas.

de 9 km² [1]. Sin embargo, luego de analizar los escenarios en los que se podría desplegar esta red, surgió la necesidad de brindar una solución para interconectar varios clusters, con el fin de incrementar el área de cobertura o para establecer comunicación entre dos lugares remotos (por ejemplo, diferentes campus universitarios).

Surgieron dos alternativas que pueden implementarse en este nuevo escenario. En primer lugar, se puede utilizar la tecnología Wi-Fi para soportar la interconexión; sin embargo, presenta dificultades en cuanto a la distancia y la capacidad del enlace. Es por esto que se decidió profundizar en la segunda alternativa, que consiste en la interconexión por medio de una red IP que soporte los requerimientos de Calidad de Servicio de las comunicaciones de voz y datos, lo cual se analiza en esta sección. Se toman como referencia los trabajos [8] y [9].

A. DiffServ

El Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet (IETF, *Internet Engineering Task Force*) define dos arquitecturas que operan como una extensión del modelo tradicional para el soporte de QoS en redes IP: Servicios Integrados [10] (IntServ, *Integrated Services*) y Servicios Diferenciados [11] (DiffServ, *Differentiated Services*). IntServ presenta problemas de escalabilidad cuando se implemente en el núcleo de la red, debido a que requiere la reservación de recursos en cada dispositivo del trayecto para cada comunicación que se establezca.

DiffServ se desarrolló con el fin de superar los problemas de escala-

bilidad de IntServ. Se basa en la división del tráfico en un número limitado de Clases de Servicio y no necesita que una aplicación reserve recursos para cada flujo sino que los requerimientos de QoS de los usuarios se especifiquen en un Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA, *Service Level Agreement*).

Todo el tráfico que ingresa a un dominio DiffServ se clasifica asignándosele un tratamiento de reenvío predeterminado denominado Comportamiento por Saltos (PHB, *Per Hop Behavior*), razón por la cual los paquetes deben marcarse con un código que diferencia los distintos comportamientos. Esta marca se realiza cambiando el campo Tipo de Servicio (ToS, *Type of Service*) del encabezado IP, por un código denominado DSCP (*Differentiated Services Code Point*) [12]. El código se asigna en los terminales ó en el enrutador de ingreso al dominio DiffServ y se examina en cada uno de los nodos del trayecto con el fin de gestionar colas y controlar los mecanismos de planificación en los enrutadores. Además el IETF define dos PHBs adicionales al Best Effort:

El Reenvío Expedito [13] (EF, *Expedited Forwarding*) proporciona un servicio de baja pérdida de paquetes, bajo retardo, bajo jitter y ancho de banda asegurado.

El Reenvío Asegurado [14] (AF, *Assured Forwarding*) proporciona alta probabilidad de que los parámetros del tráfico sean conformes con los acuerdos. Se definen cuatro clases de AF con diferentes niveles de prioridad y con marcas que permiten saber qué paquetes se eliminarán primero en caso de congestión.

B. Calidad de servicio extremo a extremo

Considerando las características de Diffserv, el uso de esta alternativa es técnicamente viable para la interconexión de varios clusters. La implementación de DiffServ permite que el tráfico que ingresa al núcleo IP reciba el tratamiento adecuado, manteniendo la Calidad de Servicio que se garantiza al interior de las celdas por medio de 802.11e y 802.1d. La Figura 7 muestra el escenario propuesto para la utilización de DiffServ.

La Figura 8 presenta de una forma más detallada los segmentos de la red involucrados en una comunicación entre terminales inalámbricos ubicados en diferentes grupos y los procedimientos de soporte para QoS en cada segmento. Con base en esto, a continuación se describe el soporte para Calidad de Servicio extremo a extremo en este escenario.

1. Marcación DSCP

Los terminales deben manejar las adaptaciones que requieren las tec-

nologías de QoS que se implementan en la red. Cuando una aplicación empieza a generar tráfico, la información pasa por un proceso de clasificación de paquete (DiffServ) y de trama (802.11e/802.1D).

Los flujos de paquetes generados en el terminal se clasifican y adaptan (operaciones que realizan elementos funcionales de la arquitectura DiffServ [11]), con el fin de ajustar los parámetros del tráfico a lo pactado en los SLA. Los paquetes se marcan en el campo DSCP para que los enrutadores presentes en el trayecto apliquen el tratamiento correspondiente al PHB asignado. Después de esto, los paquetes se encapsulan en las tramas de nivel 2.

2. QoS en 802.11e

El estándar IEEE 802.11e se diseñó para la provisión de QoS a nivel 2 (MAC) en redes inalámbricas de área local. Este estándar utiliza EDCA para controlar la utilización del medio de comunicaciones, lo cual permite brindar un soporte adecuado

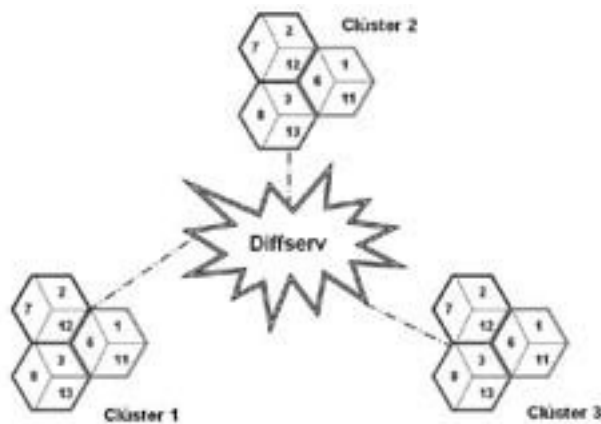


Figura 7. Utilización de IP/DiffServ para la interconexión de clusters 802.11e

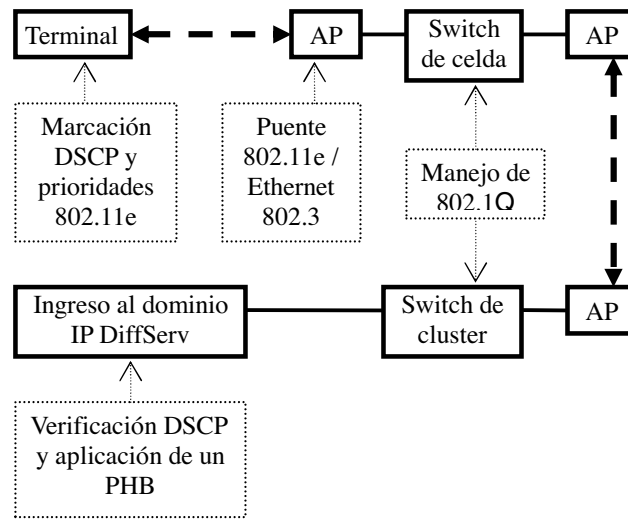


Figura 8. Trayecto de comunicaciones, tecnologías y procedimientos asociados a QoS.

a los servicios de tiempo real. Cuando los paquetes llegan al nivel MAC, se produce un mapeo entre los DSCP definidos en el nivel 3 y las Identificaciones de Categoría de Tráfico (TCID, *Traffic Category Identifications*). Las TCID se definen como las 8 prioridades asociadas a la transmisión de tramas, numeradas de 0 a 7.

Para garantizar la priorización del acceso al medio para el tráfico de tiempo real, 802.11e define cuatro Categorías de Acceso (AC, *Access Category*), las cuales corresponden a cuatro colas separadas que realizan una contienda por el medio de transmisión. Cada una de las colas maneja unos parámetros diferentes, que brindan acceso preferencial a los paquetes con mayor prioridad.

Los principales parámetros que cambian en cada cola son el Espacio Arbitrario entre Tramas (AIFS, *Arbitrary Inter-Frame Space*) y la

Ventana de Contienda (CW, *Contention Window*).

El AIFS corresponde al tiempo que el medio de transmisión debe estar libre antes que empiece a contar regresivamente un contador llamado *Backoff*. Este contador tiene un valor aleatorio tomado del intervalo $[0, CW]$.

Cada cola tiene sus propios valores de ventana de contienda máxima y mínima (CW_{min} , CW_{max}) y contadores *backoff*. La transmisión de tramas se realiza de manera independiente una vez que el contador de una cola haya llegado a cero. Es así como el tráfico con la más alta prioridad tendrá, de una manera estadística, tiempos de backoff más cortos que el tráfico con una prioridad más baja. Si los contadores de backoff de dos colas en un mismo terminal llegan al valor de cero al mismo tiempo, la cola con la menor prioridad retrasa su transmisión y cede el derecho a la cola

con prioridad más alta. En este caso, la cola con menor prioridad asume que el medio está ocupado, lo que se conoce como Resolución Interna de Colisión.

3. QoS en 802.1D

El estándar 802.1D permite que diferentes entidades del nivel MAC (por ejemplo 802.11 y 802.3 Ethernet) se puedan interconectar. El dispositivo que logra esto se denomina 'puente' y en el diseño propuesto, se trata de un AP. Otros dispositivos como los switches también implementan este estándar.

Para garantizar la Calidad de Servicio, 802.1D implementa prioridades. Las tramas se clasifican de acuerdo con su prioridad y se envían hacia múltiples colas en los dispositivos, con el fin de controlar la utilización del medio de transmisión y brindar soporte al tráfico de tiempo real. La transmisión de tramas en una cola solo se permite si las colas de prioridad superior se encuentran libres.

Para que la QoS se mantenga a lo largo de una ruta MAC del tipo Ethernet, se define una extensión al encabezado 802.3 llamada etiqueta 802.1Q, la cual transporta el nivel de prioridad de cada trama.

De hecho, las bases para la priorización en 802.11e se basan en 802.1D, por lo cual las ocho prioridades que definen los estándares son interoperables, y se mapean directamente en los AP. Las marcas también se verifican en los switches para brindar el tratamiento correspondiente a cada trama.

4. Dominio DiffServ

Al ingresar al dominio DiffServ, se verifica que los atributos del tráfico

entrante correspondan a los niveles contratados y se comprueba la marcación DSCP (cambiando el código si es necesario). Los paquetes son entonces preparados para el reenvío, sometiéndolos a procedimientos de puesta en cola y planificación. Estos procesos (conjuntamente denominados disciplinas de servicio) son algoritmos que controlan la utilización de los enlaces por parte de los flujos, con base en el PHB al que pertenecen (EF, AF ó Best Effort).

Mientras en 802.11e y 802.1D las colas implementan un algoritmo de Puesta en Cola por Prioridad (PQ, Priority Queuing), en el dominio DiffServ se necesitan otras disciplinas de servicio que permitan un mejor aprovechamiento de recursos y un alto grado de especificación en el tratamiento que debe recibir el tráfico. Algunos algoritmos más sofisticados para este propósito son: Puesta en Cola Justa Ponderada (WFQ, Weighted Fair Queuing), Round Robin Ponderado (WRR) y Puesta en Cola por Clases (CBQ, Class Based Queuing). En la salida del dominio DiffServ, se mapea y utiliza de nuevo la marca de prioridad 802.1D y 802.11e.

5. Coordinación DiffServ – 802.11e/802.1D

Al emplear dos mecanismos complementarios de QoS que operan en distintos niveles del modelo OSI, se necesita que éstos se encuentren coordinados y que las diferentes clasificaciones de tráfico que emplea cada tecnología tengan una correspondencia entre sí. El mapeo entre las clasificaciones debe realizarse directamente en el terminal fuente y en la frontera de salida del dominio DiffServ. En cualquiera de estos ca-

Por lo tanto, la entidad lógica llamada *motor DiffServ* (encargada de la marcación y demás funciones de la arquitectura) pasa los paquetes marcados con el DSCP correspondiente hacia la capa 2 en la cual se establece la correspondencia entre las clasificaciones, fijando la prioridad que debe llevar cada trama. La Figura 9 describe el proceso de mapeo. [9].

La Tabla 2 muestra una correspondencia entre los PHB DiffServ y las

prioridades de las tecnologías de nivel MAC. También se muestra un ejemplo del servicio que utilizaría cada clasificación.

De esta forma, se puede garantizar calidad de servicio extremo a extremo en el diseño propuesto. En [15] se encuentra una descripción de las disciplinas de servicio y un ejemplo más extenso de la utilización conjunta de DiffServ y 802.1D.

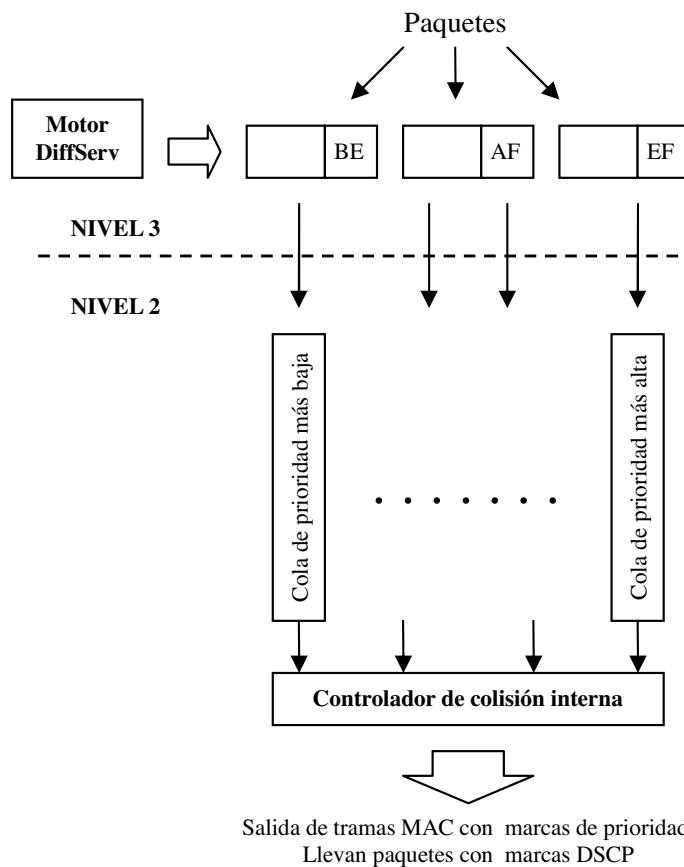


Figura 9. Mapeo de clasificaciones de tráfico entre los niveles de red y MAC.

Tabla 2. Correspondencia entre PHB Diffserv y prioridades a nivel MAC

Prioridad 802.11e/802.1D	PHB DiffServ	Tipo de tráfico
1	Best Effort	Background (Transferencias de gran volumen que se permiten pero no deben afectar a otros usuarios o aplicaciones)
2		Disponible
0		Best Effort Tradicional
3	AF1	Servicios de datos
4	AF2	Servicios de datos que requieren baja tasa de pérdida de paquetes
5	EF	Video
6		Voz
7	AF3	Señalización y control de red

7. CONCLUSIONES

En términos de capacidad, el diseño de una red WLAN multicelda outdoor propone un incremento del número de usuarios soportados por un proveedor, lo cual genera la necesidad de proporcionar una QoS extremo a extremo del cluster para así complementar y maximizar las ventajas del estándar 802.11e a nivel de sector.

Considerando los problemas presentes en los entornos outdoor es importante aplicar técnicas como el re-uso de frecuencias y la sectorización, dado que su uso tiene un efecto considerable sobre la capacidad del sistema.

La arquitectura de Calidad de Servicio DiffServ proporciona un medio adecuado para la interconexión de clusters. De esta manera se puede garantizar que el tráfico de tiempo real reciba un tratamiento adecuado a lo largo de todo el trayecto de comunicaciones: los terminales, puntos de acceso, switches y enrutadores.

La utilización de DiffServ permite ampliar la cobertura de la red ó la co-

municación entre dos áreas remotas, como puede ser el caso de diferentes campus universitarios.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Agredo Guefry, Benavides Christian, Gómez Javier, "Diseño y Simulación de una red WLAN Multicelda con soporte para 802.11e", Trabajo de Grado, Universidad del Cauca, 2007.
- [2] Gil Epshtein, "How to assure QoS over WLAN for consumer electronics", 2006
- [3] Leung, Kin K., McNair, Bruce, Cimini, Leonard J Jr. y Winters, Jack H. "Outdoor IEEE 802.11 Cellular Networks: MAC Protocol Design and Performance", 2001.
- [4] ITU-T Rec G.1010, "Quality of Service Performance- End user Multimedia QoS Categories", 2001.
- [5] Clark, Martin V., Leung, Kin K., McNair, Bruce y Kostic, Zoran. "Outdoor IEEE 802.11 Celular

Networks: Radio Link Performance”, 2002.

- [6] Ministerio de Comunicaciones, “Resolución Número 000689”, 2004.
- [7] CISCO, “Outdoor Wireless Applications Guide for Access Points and Bridges”, 2005.
- [8] C. García, “Propuesta de arquitectura de QoS en entorno inalámbrico 802.1e basado en Diffserv con ajuste dinámico de parámetros”, Tesis Doctoral, Junio 2006.
- [9] S. Park et al, “Collaborative QoS Architecture between Diffserv and 802.11e Wireless LAN”, 2003.
- [10] R. Braden, D. Clark, y S. Shenker, “Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview,” IETF RFC 1633, Junio de 1994.
- [11] S. Blake et al., “An Architecture for Differentiated Services”, IETF RFC 2475, Diciembre de 1998.
- [12] K. Nichols et al., “Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers”, IETF RFC 2474, Diciembre de 1998.
- [13] V. Jacobson et al., “An Expedited Forwarding PHB”, IETF RFC 2598, Junio de 1999.
- [14] J. Heinanen et al., “Assured Forwarding PHB Group”, IETF RFC 2597, Junio de 1999.
- [15] M. Caicedo, O. Calderón y C. Viteri, “Análisis Multinivel de la Calidad de Servicio y su relación con la arquitectura TMN”, Trabajo de Grado, Universidad del Cauca, 2006.

CURRÍCULOS

Javier A. Gómez (e-mail: jgomez@ieee.org) es Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones., Universidad del Cauca, 2007. Áreas de interés: Comunicaciones Móviles e Inalámbricas, Redes de Nueva Generación. IEEE Student Member. Ingeniero de Implementación ANDCOM LTDA.

Carlos A. Viteri (e-mail: caviteri@ieee.org) es Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca, 2006. IEEE Student Member. Estudiante de Maestría en Ingeniería Electrónica Universidad de los Andes. ☼